МИНИСТЕРСТВО ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ СССР
ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «СОЮЗТВЕРДОСПЛАВ»
СПЕЦИАЛЬНОЕ
ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ БЮРО
«ОРГПРИМТВЕРДОСПЛАВ»

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ПРИМЕНЕНИЮ ДИФФУЗИОННОЙ СВАРКИ В ВАКУУМЕ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИНСТРУМЕНТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ, АРМИРОВАННЫХ ТВЕРДЫМ СПЛАВОМ

МОСКВА 1971

МИНИСТЕРСТВО ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ СССР
ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «СОЮЗТВЕРДОСПЛАВ»

СПЕЦИАЛЬНОЕ
ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ БЮРО
«ОРГПРИМТВЕРДОСПЛАВ»

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ПРИМЕНЕНИЮ ДИФФУЗИОННОЙ СВАРКИ В ВАКУУМЕ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИНСТРУМЕНТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ, АРМИРОВАННЫХ ТВЕРДЫМ СПЛАВОМ

МОСКВА 1971

Разработанный в Советском Союзе метод диффузионной сварки в вакууме (авторское свидетельство № 112460, приоритет 3. 2. 1956 г. на имя Казакова Н. Ф.) позволяет выполнять качественное соединение твердого сплава со сталью, причем надежность соединения значительно выше, чем при пайке.

Предлагаемые технологические рекомендации предназначены для инженерно-технических работников инструментальных служб завода. При разработке рекомендаций использованы работы ПНИЛДСВ (г. Москва), СПТБ «Оргпримтвердосплав» и ряда других организаций.

Составители: *Самойлов В. С., Ду В. В., Полякова М. Л.*
Под общей редакцией *Самойлова В. С.*
Редактор *Сецкая И. В.*

ЛИТЕРАТУРА

1. Казаков Н.Ф. Диффузионная сварка в вакууме. М., "Машиностроение", 1968.

2. Казаков Н.Ф., Самойлов В.С., Полякова М.Л. Диффузионная сварка в вакууме твердого сплава ВК20 со сталью. Сварочное производство, 1972 г., № 2.

3. Клочко Н.А. и др. Метод определения напряжений, возникающих в процессе пайки твердого сплава со сталью. В сб.: Твердые сплавы. М., "Металлургия", 1965, вып. 6.

4. Клочко Н.А. и др. Определение температурного режима деформирования паяного соединения твердого сплава со сталью при исследовании кривых изменений их линейных размеров в зависимости от температуры. В сб.: Твердые сплавы. М., "Металлургия", 1969, вып. 9.

Сдано в набор 9 февраля 1972 г. Подписано к печати 29. марта 1972 г.
Отпечатано в отделении 6-й типографии г. Риги, пл. 17 Июня, 1
Зак. № 235а Тираж 1500 Л 88561

1. В современном машиностроении одним из новых прогрессивных методов соединения материалов является диффузионная сварка в вакууме, которая основана на способности химически чистых поверхностей к «сцеплению» с такими же поверхностями за счет открытых атомных связей [1]. Данным методом можно соединять материалы с различными физико-механическими свойствами, которые не свариваются и не спаиваются обычными способами. Наибольшая прочность соединения на срез при пайке — 28 кг/мм^2. При диффузионной сварке в вакууме получается прочность, близкая к прочности соединяемых материалов, а в ряде случаев и выше.

Отсутствие припоя позволяет получить более равномерное распределение внутренних напряжений, в результате чего поводка и деформация деталей при сварке в вакууме весьма незначительны.

2. Метод диффузионной сварки состоит в использовании диффузии атомов и молекул соединяемых металлов и сплавов при разряжении 10^{-3}—10^{-6} мм рт. ст. с нагревом без расплавления поверхностных слоев металлов и относительно небольшом удельном давлении (1—2 кг/мм^2).

Для получения соединения двух идеальных образцов необходимо сблизить их на расстояние, достаточное для установления металлической связи. В реальных условиях поверхность твердого тела всегда имеет микронеровности: трудноудалимые адсорбционные слои газов, воды и других веществ. Поэтому при контакте реальных твердых тел фактическое соприкосновение происходит лишь в отдельных точках, и площадь действительного контакта ничтожно мала по сравнению с общей площадью, даже если поверхности хорошо обработаны. Однако в условиях приложения давления и одновременного нагрева поверхности сглаживаются и площадь действительного контакта в результате пластической деформации микровыступов увеличивается.

Если процесс осуществлять в вакууме, поверхность металла будет не только предохраняться от дальнейшего загрязнения (окисления), но и очищаться в результате процессов диссоциации и испарения окислов, гидридов и нитридов.

Получение монолитного соединения объясняется возникновением в вакууме нормальных металлических связей в результате локаль-

ной пластической деформации при повышенной температуре, максимального сближения поверхностей и взаимной диффузии в поверхностных слоях контактирующих материалов.

3. Для получения соединения методом диффузионной сварки в вакууме необходимо:

А. Очистить соединяемые поверхности и предотвратить возможность их дальнейшего окисления. Свариваемые поверхности должны быть предварительно обработаны (не ниже ▽6—▽7) и обезжирены ацетоном, спиртом или эфиром. Для предотвращения окисления сварка производится в вакууме не ниже $1 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст., так как вакуум по своим защитным свойствам превосходит другие технические средства.

Б. Нагреть соединяемые тела и обеспечить определенную изотермическую выдержку. Температура является важнейшим параметром диффузионной сварки. Она ускоряет взаимное перераспределение атомов при сближении отдельных микроучастков контактной поверхности, способствует устранению различного рода несовершенств кристаллической структуры в зоне сварки.

В. Приложить сжимающее давление, основное назначение которого — вызвать микропластическую деформацию, создать максимальный контакт между поверхностями для образования физического контакта и развития взаимной диффузии.

Все оптимальные параметры диффузионной сварки (температура, время, давление) определяются опытным путем.

4. Диффузионная сварка в вакууме имеет следующие преимущества перед другими способами соединения:

а) возможность получить сварные конструкции без следов деформации, при этом отпадает необходимость дальнейшей механической обработки, так как на поверхностях соединяемых деталей отсутствует окалина, наплывы флюса и припоя;

б) изменение свойств металлов в зоне сварки незначительно, так как процесс идет без расплавления соединяемых поверхностей;

в) обеспечивается высокая надежность соединения, статическая и динамическая прочность, термостойкость, вакуумная плотность, а также высокие упругие свойства.

По прочностным характеристикам диффузионное соединение значительно превышает другие способы соединения материалов (пайку, сварку, склеивание).

В результате испытаний сварных и паяных соединений на разрыв, изгиб и сдвиг установлено:

— прочность на разрыв сварного соединения твердый сплав ВК20 — сталь 18Х2Н4ВА составляет 67—97 кг/мм^2;

12. **Области применения.** Ввиду относительно низкой производительности процесса метод диффузионной сварки находит применение в основном при изготовлении ответственных узлов изделий, где предъявляются особые требования к их работоспособности и надежности, а также в тех случаях, когда детали не могут быть изготовлены обычными методами.

Примером таких деталей являются пуансон-матрицы, пуансоны и ловители твердосплавных штампов, сложный металлорежущий инструмент.

На рис. 4 показаны детали твердосплавных штампов, сваренные методом диффузионной сварки. На рис. 5 дана конструкция штампа с деталями, изготовленными с применением диффузионной сварки в вакууме.

Методом диффузионной сварки может быть изготовлен и специальный твердосплавный инструмент.

На рис. 6 показана коническая твердосплавная развертка, где с целью снижения расхода твердого сплава рабочая твердосплавная часть приварена к стальному хвостовику диффузионной сваркой.

Метод диффузионной сварки может быть эффективно использован при решении ряда технологических задач изготовления изделий сложного контура.

13. Применение диффузионной сварки в вакууме дает существенную экономию твердых сплавов. Например, для изготовления компаундного штампа для вырубки железа Ш-80×60 при цельнотвердосплавном варианте изготовления матрицы и пуансонов расходуется 11,2 кг твердого сплава ВК20; при изготовлении матрицы и пуансонов сварными — около 2 кг. Таким образом, на данном штампе может быть получена экономия 9,2 кг. твердого сплава ВК20 ($\approx$200 руб.)

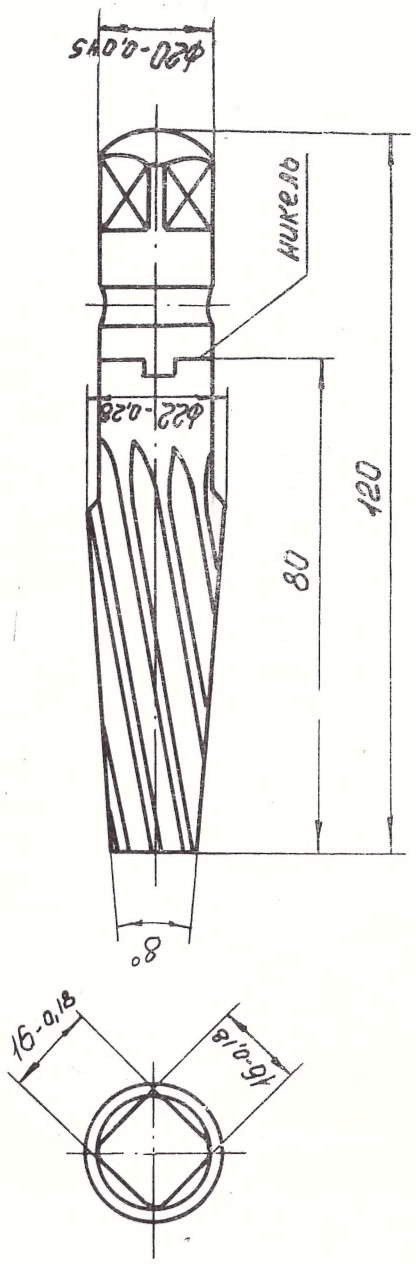


Рис. 6. Коническая развертка:

1 — режущая часть, твердый сплав ВК8;
2 — хвостовик, сталь 18Х2Н4ВА.

— прочность на изгиб сварного соединения твердый сплав ВК20 — сталь ХГВ составляет 80—90 кг/мм²;

— прочность на сдвиг паяного соединения твердый сплав ВК8 — сталь — 17,6 кг/мм², сварного ВК20 — сталь — 40—45 кг/мм², т. е. прочность сварного соединения превышает прочность паяного в 2 раза;

— прочность на кручение паяного соединения твердый сплав ВК8 и сталь 40Х — 19 кгм, сварного — 24 кгм (для ∅ 20 мм), т. е. прочность сварного соединения на 25% выше.

5. В настоящее время разработано и создано свыше сорока типов сварочных установок для экспериментального и промышленного применения. Классификация сварочных установок для диффузионной сварки приведена в табл. 1.

Основными частями установок являются вакуумная сварочная камера с вакуумной системой, источник нагрева детали и система, служащая для передачи необходимого давления на свариваемые детали. Из источников нагрева наибольшее распространение получил индукционный нагрев, что обусловлено его простотой и возможностью быстрой смены номенклатуры свариваемых деталей. Технические характеристики основных конструкций приведены в табл. 2.

6. Практика применения пайки и различных способов сварки материалов показывает, что одним из основных факторов, определяющих качество соединения, являются возникающие внутренние напряжения, которые в некоторых случаях достигают значительных величин и приводят к разрушению изделия.

Аналогичная картина наблюдается и при диффузионной сварке материалов. При этом наиболее-значительные напряжения возникают тогда, когда свариваемые материалы имеют резко отличающиеся коэффициенты линейного расширения, например, при сварке твердого сплава со сталью.

При разности коэффициентов линейного расширения у стали и сплава более, чем в два раза (α ВК20 $= 4{,}7 \cdot 10^{-6}$ мм/мм. град.; α стали $= 12{,}0 \cdot 10^{-6}$ мм/мм. град), возникающие в зоне сварки напряжения создают на наружной поверхности и в зоне сварки растягивающие напряжения, приводящие к разрушению твердого сплава.

Если при пайке в зоне соединения двух деталей имеется слой припоя, который способствует диффузии и релаксации напряжений, возникающих в зоне сварки, то при диффузионной сварке весьма эффективно применение промежуточных прокладок из материала, коэффициент линейного расширения которого занимает промежуточное значение между коэффициентами линейного расширения стали и твердого сплава и который активно диффундирует как в твердый сплав, так и в сталь.

Таблица 1.

КЛАССИФИКАЦИЯ СВАРОЧНЫХ ДИФФУЗИОННЫХ ВАКУУМНЫХ УСТАНОВОК

Способ управления	Способ передачи давления	Конструктивное исполнение	Способ нагрева	Интенсификация нагрева и диффузии
Ручное	Механический	Однокамерное	Индукционный	С наложением ультразвуковых колебаний
Полуавтоматическое	Гидравлический	Двухкамерное	Контактный	С наложением электроколебаний
Автоматическое	Пневматический	Многокамерное (роторного типа)	Радиационный	
Программное (автоматическое)	Термический натяг	Шлюзованное	Электронно-лучевой	
		Многоместное	Терморадиационный	
		С высоким вакуумом	Тлеющий разряд	
		С глубоким вакуумом	Комбинированный	
		С местным вакуумом		
		С низким вакуумом		

Таблица 2.

Тип установки	Размеры рабочей камеры, мм	Максимальные габариты свариваемых деталей, мм	Рабочий вакуум в камере, мм рт. столба	Максимальная температура нагрева, 0° С	Усилие сжатия, т	Тип источника питания
СДВУ-6М	250×250×280	Ø 60×180	10^{-5}	3000	4,5	ЛЗ-37
СДВУ-12	250×200×200	Ø 50×180	$3 \cdot 10^{-4}$	1400	3,0	ЛГЗ-10А
СДВУ-15М	Ø 350×390	Ø 80×180	10^{-5}	2600	8,5	ЛЗ-67
А306.08	Ø 350×440	Ø 120×180	$2 \cdot 10^{-5}$	1300	10,0	И060.011
А306.06 (двухкамерная)	Ø 350×440	Ø 120×180	$2 \cdot 10^{-5}$	2600	10,0	ЛЗ-67
СЖМ.2.327.00	Ø 350×440	Ø 120×180	$2 \cdot 10^{-5}$	2000	10,0	И0.600083

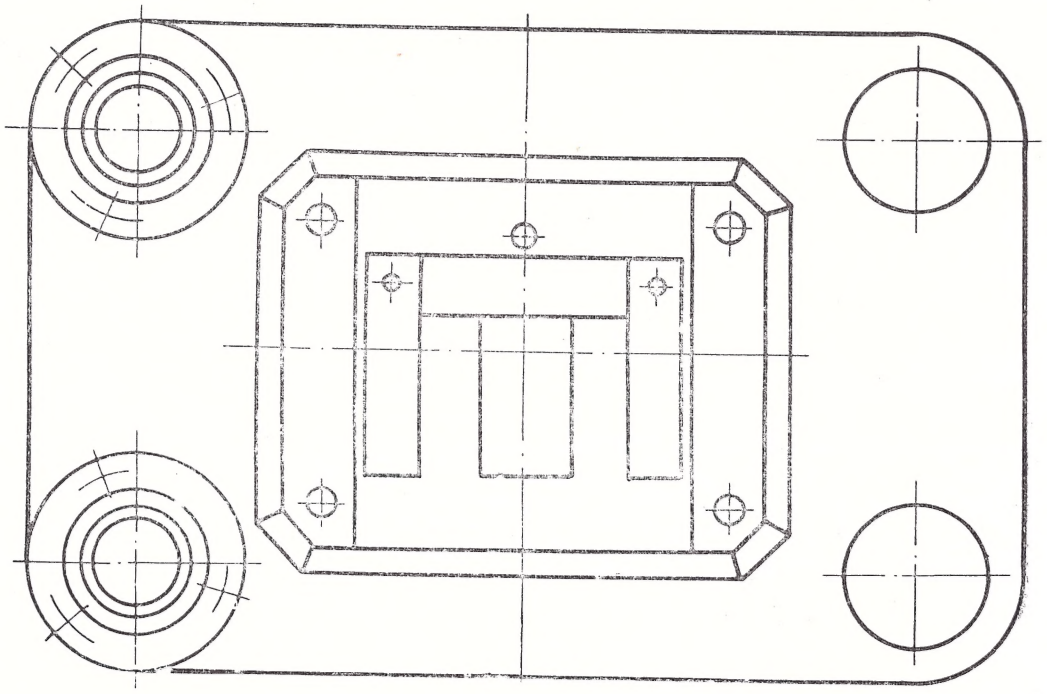
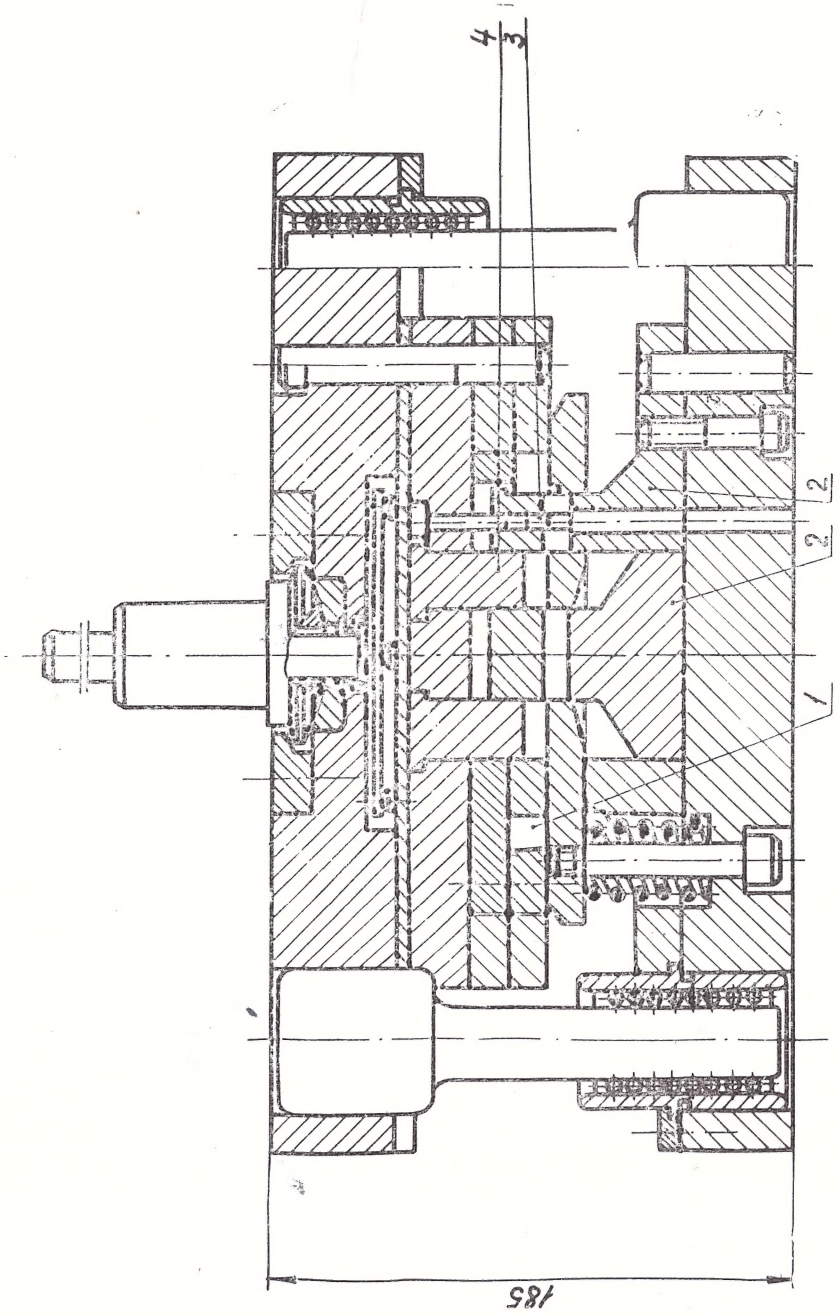


Рис. 5. Штамп для вырубки Ш-образного железа, изготовленный с применением диффузионной сварки в вакууме:
1 — матрица;
2 — пуансон — матрица;
3, 4 — пуансоны.



Наилучшими материалами для таких прокладок при сварке твердого сплава со сталью являются пермаллой или никель в виде фольги толщиной 0,05—0,2 мм или их комбинации.

В результате металлографических исследований зоны сварного шва с применением прокладки установлено (рис. 1), что материал прокладки интенсивно диффундирует в сталь по границам зерен, а в твердом сплаве в результате диффузии образуется «светлая зона» — замещение кобальта никелем.

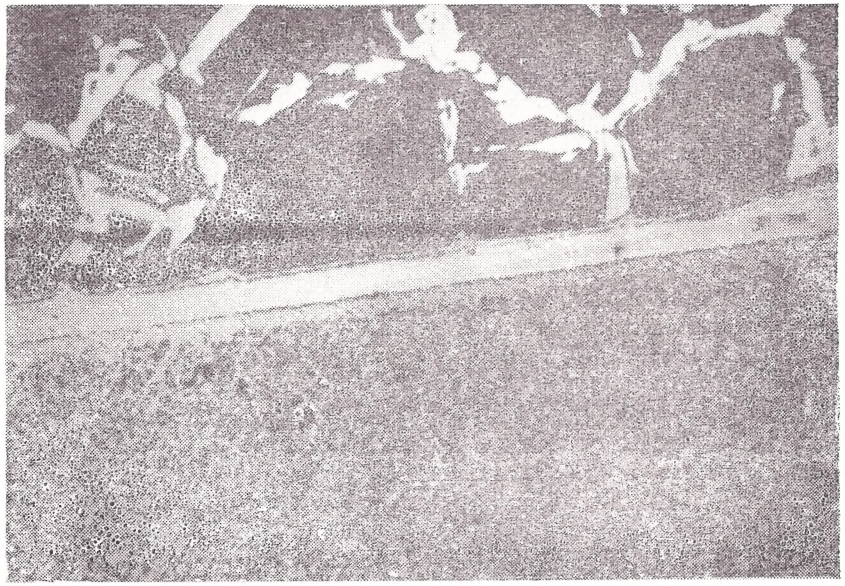


Рис. 1. Микрофотография зоны соединения ВК20 — Ni — 18Х2Н4ВА (×350)

Взаимная диффузия элементов из твердого сплава и стали в промежуточную прокладку и из промежуточной прокладки в сталь и твердый сплав создает переходную зону в стали, обогащенную никелем, а у твердого сплава — обедненную кобальтом и обогащенную никелем, что приводит к повышению микротвердости стали и снижению микротвердости твердого сплава в районе переходной зоны (рис. 2).

7. Методом диффузионной сварки в вакууме могут быть соединены со сталью практически все марки твердого сплава ВК. Однако наилучшие результаты по прочности получаются при свар-

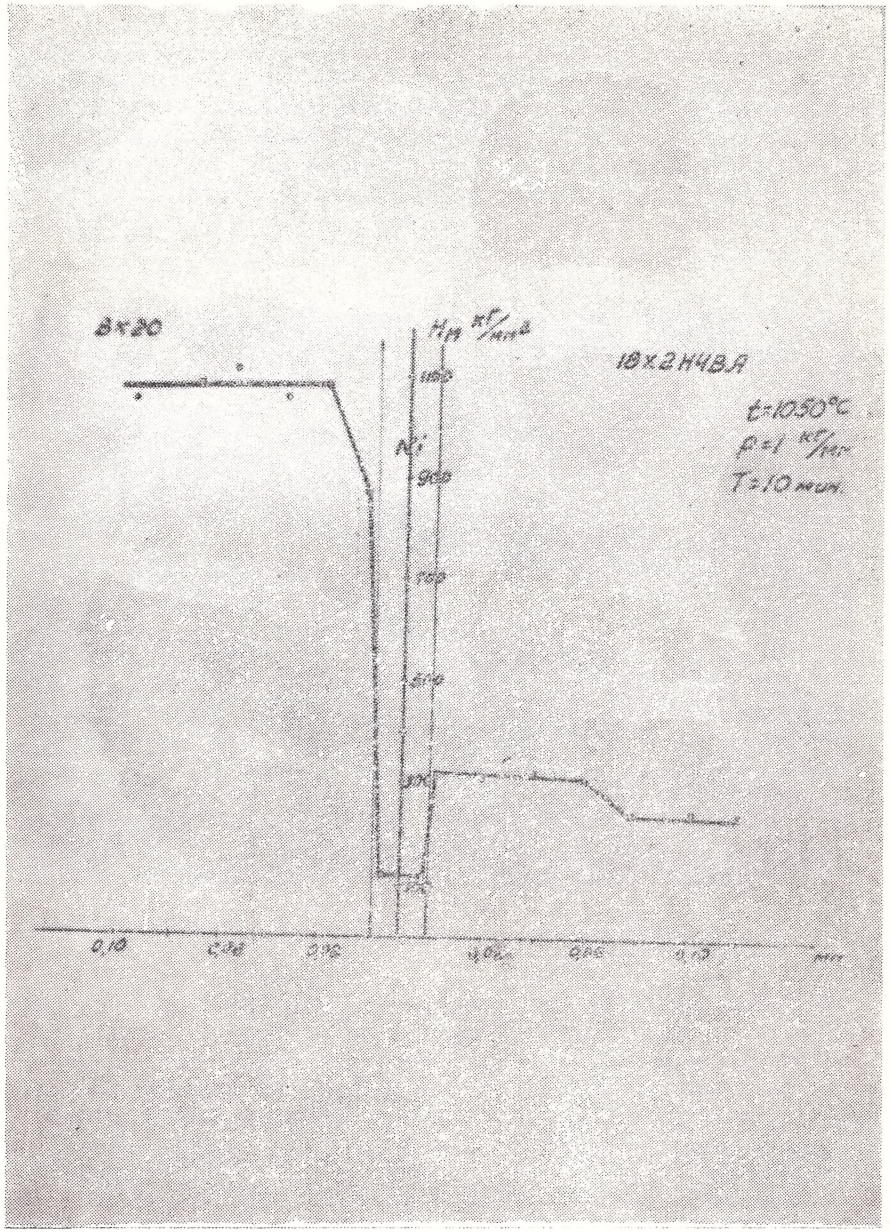


Рис. 2. Характер изменения микротвердости в зоне сварки соединения ВК20 — Ni — 18Х2Н4ВА.

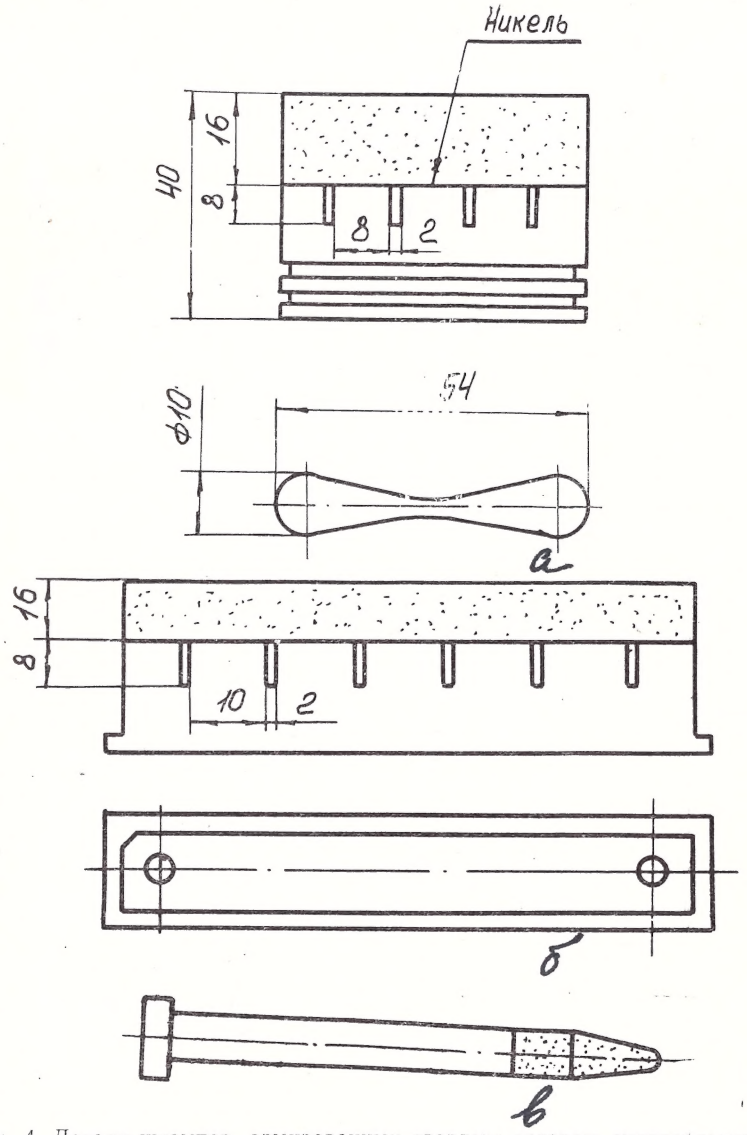


Рис. 4. Детали штампов, армированных твердым сплавом, изготовленные с применением диффузионной сварки в вакууме:

а — пуансон для вырубки звена цепи;
б — пуансон — матрица;
в — ловитель.

Перед сваркой доведенные поверхности тщательно обезжиривают спиртом, эфиром или ацетоном, а затем просушивают фильтровальной бумагой.

Применяемую при сварке промежуточную прокладку вырезают по контуру свариваемого изделия и также тщательно обезжиривают и просушивают фильтровальной бумагой.

В вакуумную камеру устанавливают индуктор, предназначенный для данного изделия.

Свариваемые детали устанавливают в камеру в следующем порядке: на нижнюю опору камеры устанавливают брусок из огнеупорного кварцевого кирпича, обожженного в камерной электропечи, а на него — стальную свариваемую державку. Затем производят совмещение зоны сварки с плоскостью нагрева индуктора при помощи подкладок между опорой камеры и бруском. На свариваемую поверхность державки укладывают промежуточную прокладку, а затем свариваемую деталь из твердого сплава, на которую также устанавливают брусок из огнеупорного кирпича. Назначение брусков — теплоизоляция от элементов установки и предотвращение свариваемости вторых концов изделия с подкладками.

При сварке длинных деталей с малой площадью сварки (пуансоны штампов), во избежание сдвига твердого сплава относительно стальной державки, рекомендуется твердый сплав и сталь закреплять технологической прокладкой из пермаллоя, привариваемой конденсаторной сваркой к стали и твердому сплаву.

После установки и выверки свариваемого изделия по высоте относительно индуктора камеру герметизируют и производят откачку насосами — сначала форвакуумным, а после достижения разряжения порядка 10^{-1} мм рт. ст. — вакуумным (парамасляным) насосом.

Контроль степени разряжения производят по показаниям вакуумметра.

После достижения необходимого вакуума детали нагревают до оптимальной температуры.

При достижении оптимальной температуры сварки к свариваемым изделиям прикладывается давление сжатия.

При заданном вакууме и давлении производится изотермическая выдержка.

По истечении времени выдержки нагрев отключают и изделие охлаждают в камере до температуры 860—870° при сварке твердого сплава группы ВК со сталью 18Х2Н4ВА и до 300—500° при сварке твердого сплава с твердым сплавом.

После этого камеру разгерметизируют и изделие из твердого сплава и стали 18Х2Н4ВА охлаждают на воздухе с целью получения требуемой твердости стали.

ке более пластичных сплавов с большим содержанием кобальта. Для изготовления твердосплавных штампов широкое распространение получили твердые сплавы ВК20, ВК20КС, отвечающие указанным условиям.

Как уже указывалось, при диффузионной сварке в вакууме твердого сплава со сталью из-за разницы в коэффициентах линейного расширения материалов в зоне сварки возникают внутренние напряжения, которые могут быть причиной разрушения соединения.

В зависимости от технологии сварки максимальные растягивающие напряжения, опасные для твердых сплавов, могут возникать либо в зоне сварки, либо на поверхности сплава и в сумме с внутренними напряжениями в состоянии поставки или с напряжениями, связанными с последующей механической обработкой, приводить к образованию трещин в твердом сплаве.

Известно [3], что снижение внутренних напряжений при пайке твердого сплава со сталью достигается применением закалки деталей с паячного нагрева или использованием для державок инструмента сталей мартенситного класса. При закалке в стали происходят фазовые превращения, связанные с переходом аустенита в мартенсит, который обладает наибольшим удельным объемом. Этот переход происходит с увеличением длины стальной державки, в результате чего растягивающие напряжения в твердом сплаве уменьшаются или изменяются на сжимающие (табл. 3). Этот эффект используют и при диффузионной сварке в вакууме, для чего стальные державки инструмента изготавливают из сталей 18Х2Н4ВА, 3Х2В8, 5ХНТ.

Таблица 3.

Способ соединения	Соединяемые материалы		Прокладки (припой)		Напряжения, кг/мм²	
	сталь	твердый сплав	материал	толщина, мм	на поверхности твердого спл.	в зоне соединения
пайка[4]	ст. 3	ВК15	Л62	0,1	+49,6	—79,1
пайка[4]	18Х2Н4ВА	ВК15	Л62	0,1	— 5,5	+ 9,2
ДСВ*)	ст. 3	ВК20	никель	0,1	+ 5,2	—33,6
ДСВ*)	18Х2Н4ВА	ВК20	никель	0,1	+ 0,8	— 7,5
ДСВ**)	18Х2Н4ВА	ВК20	никель	0,1	— 0,5	+10,9
ДСВ**)	18Х2Н4ВА	ВК20	никель	0,02	— 1,4	+29,7
ДСВ**)	18Х2Н4ВА	ВК20	никель	0,02	+ 0,4	— 8,1

*) — охлаждение в вакууме;
**) — охлаждение с 860° С на воздухе.

На рис. 3. приведены две детали, изготовленные при помощи диффузионной сварки в вакууме:

а) основание изготовлено из стали 3;

б) из стали 18Х2Н4ВА с резким охлаждением на воздуже с температуры 860° С.

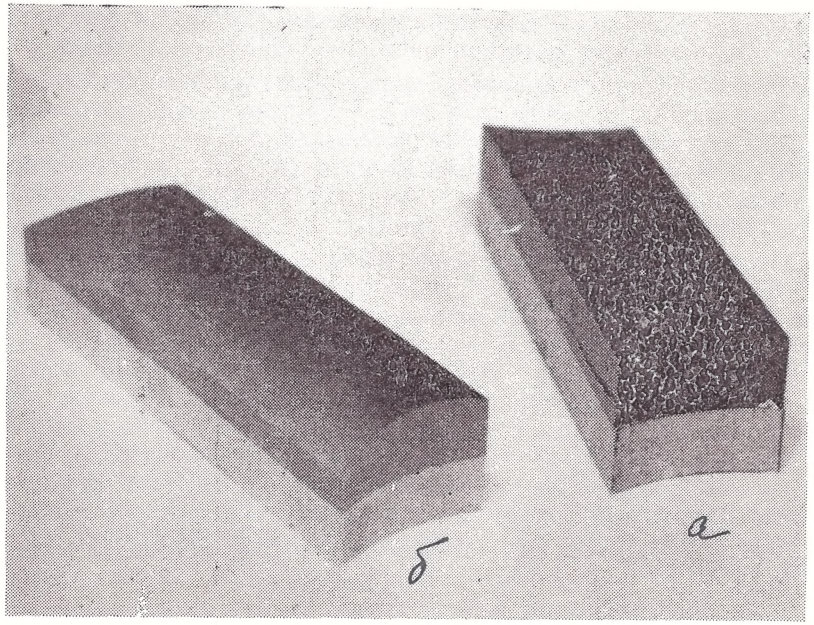


Рис. 3. Детали сборной фильеры, выполненные диффузионной сваркой в вакууме:

а — ВК20 — Ni — сталь 3;
б — ВК20 — Ni — 18Х2Н4ВА.

8. При сварке деталей сложных контуров с малыми сечениями и деталей небольших сечений с относительно большой длиной (отношение сторон порядка 1 : 3) с целью снижения растягивающих напряжений, возникающих на поверхности твердого сплава, в опорной части стальной державки, на которую приваривается твердый сплав, прорезают пазы шириной 2—3 мм на глубину 10—12 мм с интервалом 8—10 мм.

Компенсирующие пазы снижают напряжение в сварном соединении и тем самым повышают его прочность.

9. Основными технологическими параметрами диффузионной сварки в вакууме, определяющими качество соединения, являются

степень разряжения (вакуума), температура и время нагрева изделий, а также величина прикладываемого к ним давления. Оптимальные режимы сварки твердого сплава ВК20 со сталью:

— рабочий вакуум — не менее 10^{-4} мм рт. ст.;
— температура нагрева — 1050+20° С;
— удельное давление — 1+0,2 кг/мм^2;
— время сварки — 10—12 мин.

Прочность соединения, выполненного диффузионной сваркой в вакууме на оптимальных режимах, зависит также от материала и толщины промежуточной прокладки (табл. 4).

Таблица 4.

№№ п. п.	Режим сварки			Промежуточная прокладка		Прочность на разрыв, кг/мм^2
	температура, °С	давление, кг/мм^2	время, мин.	материал	толщина	
1.	900	1,0	10	никель, лента	0,02	38,0
2.	1000	1,0	10	„	0,02	41,3
3.	1050	1,0	10	„	0,02	67,6
4.	1050	1,0	10	„	0,10	97,7
5.	1050	1,0	10	никель, порошок	≈0,04	38,6
6.	1050	1,0	10	пермаллой, лента	0,02	78,0
7.	1050	1,0	10	„	0,04	83,3
8.	1050	1,0	10	„	0,10	87,0

10. Аналогичным способом можно производить и сварку твердого сплава с твердым сплавом. Для сварки твердосплавных деталей необходимо, чтобы соединяемые поверхности были тщательно подогнаны друг к другу. Сварка производится без применения промежуточных прокладок на режимах:

— температура сварки — 1100° С;
— удельное давление — 1,5 кг/мм^2;
— время сварки 12—15 мин.

11. Сварка деталей штампов и другой технологической оснастки производится в следующей последовательности.

Свариваемые поверхности обрабатывают до ▽6— ▽7, а затем доводят на доводочных плитах при помощи абразивных или алмазных порошков и паст с целью получения плоскостности.

В тех случаях, когда по конструкции установки замер температуры производится с помощью термопары, перед сваркой в стальной державке на расстоянии 1—2 мм от плоскости сварки, сбоку, просверливают отверстие ∅ 1,0 мм и глубиной 3—5 мм для установки термопары.